

全国高校出版社主题出版



中国地质调查出版物

青藏

QINGZANGGAOYUAN KUANGCHAN ZIYUAN KAIFA DE
DIZHI HUANJING CHENGZAILI PINGJIA FANGFA YANJIU

高原矿产资源开发的 地质环境承载力评价方法研究

孙自永 周爱国 补建伟 甘义群 王旭 龙翔 等编著



非
外
借



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

全国高校出版社主题出版



“青藏高原矿产资源开发地质环境承载力评价(12120113038400)”
中国地质调查“青藏高原资源开发的环境承载力评价方法研究(1212010818093)”项目资助
“矿山环境综合调查与评价(1212011120028)”

青藏高原矿产资源开发的 地质环境承载力评价方法研究

QINGZANGGAOYUAN KUANGCHAN ZIYUAN KAIFA DE
DIZHI HUANJING CHENGZAILI PINGJIA FANGFA YANJIU

孙自永 周爱国 补建伟
甘义群 王旭 龙翔 等编著

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价方法研究/孙自永等编著. —武汉:中国地质大学出版社,2016.12
ISBN 978-7-5625-3994-0

- I. ①青…
- II. ①孙…
- III. ①青藏高原-矿产资源开发-地质环境-环境承载力-评估方法-研究
- IV. ①TD167

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 321420 号

青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价方法研究		孙自永 等编著
责任编辑:舒立霞	组 稿:张晓红	责任校对:张咏梅
出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		邮编:430074
电 话:(027)67883511	传 真:(027)67883580	E-mail:cbb@cug.edu.cn
经 销:全国新华书店		Http://cugp.cug.edu.cn
开本:880 毫米×1230 毫米 1/16	字数:420 千字	印张:13.25
版次:2016 年 12 月第 1 版	印次:2016 年 12 月第 1 次印刷	
印刷:武汉市籍缘印刷厂	印数:1—1000 册	
ISBN 978-7-5625-3994-0		定价:88.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序 言

青藏高原总面积近 300 万 km^2 , 平均海拔 4000~5000m, 是中国最大、世界海拔最高的高原。她被誉为“世界屋脊”“地球第三极”“野生动物的王国”和“亚洲水塔”, 其生物多样性、水源涵养、气候调节和碳氧平衡维持等环境服务功能不可替代, 生态地位在亚洲乃至全球范围内都极为重要。

同时, 青藏高原又是我国最具找矿潜力的地区, 在陆-陆碰撞形成的造山带内已发现多条世界级规模的成矿带和众多的巨型-大型矿床。目前国家在青藏高原部署了冈底斯成矿带、班公湖-怒江成矿带、西南三江成矿带中北段、东昆仑成矿带、柴达木北缘成矿带和祁连成矿带 6 个大型成矿带, 内含 20 多个矿产资源重点勘查规划区。随着国家西部大开发战略的实施和推进, 对西部地区的开发和支持度与日俱增, 特别是对矿产资源的需求与依赖程度逐渐向西部转移。

矿产资源的开发不可避免地会对环境造成改变, 特别是在青藏高原这种地质环境脆弱而敏感的地区, 采矿对灌丛、高山草甸、冻土、泥炭沼泽等水文下垫面性状影响很大, 对区域的产、汇流过程和冻土层碳释放扰动强烈, 从而影响局部、区域乃至全球的生态水文过程及气候变化。在青藏高原开展矿业活动所导致的地质灾害、环境污染和生态失衡往往不可逆, 采矿“后遗症”常常无法治愈。党的十八大明确提出把生态文明建设放在突出地位, 体现出了当前社会发展对生态文明建设前所未有的追求与渴望, 这在青藏高原显得尤为迫切和突出。

任何环境系统对外界的干扰都有一定的抵抗能力和自适应能力。矿产资源的供给功能与地质环境的服务功能之间也存在一个相对的平衡点: 只要矿产资源开发强度不超过某一临界阈值, 即把矿产资源开发活动的强度限制在地质环境可承载的范围内, 地质环境的服务功能就得以正常发挥。然而, 怎样寻找和定量表达这种平衡点, 即如何确定地质环境的承载能力, 仍需开展深入研究。

本书依托地质矿产调查评价国家专项“青藏高原矿产资源开发地质环境承载力评价(12120113038400)”“青藏高原资源开发的环境承载力评价方法研究(1212010818093)”和“矿山环境综合调查与评价(1212011120028)”成稿, 同时也是这 3 个地质调查工作项目研究成果的集中体现。在项目开展过程中, 得到了中国地质调查局西安地质调查中心、青海省水文地质工程地质勘察院和四川省地质矿产勘查开发局九一五水文地质工程地质队等兄弟单位的大力支持, 在此表示诚挚谢意。

本书共分七章, 第一章由孙自永、周爱国编写; 第二章由甘义群、王旭编写; 第三章由孙自永、补建伟编写; 第四章由龙翔、王旭编写; 第五章由孙自永、补建伟编写; 第六章由补建伟、孙自永编写; 第七章由周爱国、甘义群编写; 全书由孙自永和周爱国统稿。

项目开展和书稿撰写过程中, 中国地质调查局的徐友宁研究员、何芳研究员和吕敦玉副研究员给予了大力支持, 中国地质大学(武汉)的唐仲华教授、周建伟副教授、柴波副教授、梁和成副教授、李远耀副教授、李小倩副教授和刘运德博士、李鑫博士等提出了许多宝贵意见和建议。全书整体思路、内容架构和文辞修饰方面得益于蔡鹤生教授的悉心指导。课题组博士研究生魏文浩、刘梦、王思宇, 硕士研究生潘钊、王烁、葛孟琰、邢文乐、刘原甫和黄博在图件绘制和文字校对上做了大量工作, 在此一并表示感谢! 受知识水平所限, 本书纰漏在所难免, 请广大读者朋友不吝赐教!

编著者

2016 年 10 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究背景与研究内容	(1)
一、研究背景	(1)
二、研究内容	(3)
三、研究意义	(8)
第二节 研究思路与工作方法	(9)
一、研究思路	(9)
二、工作方法	(10)
第三节 国内外研究现状	(13)
一、矿山地质环境评价研究现状	(13)
二、矿山地质环境承载力研究现状	(14)
第二章 青藏高原自然地理及区域地质概况	(17)
第一节 自然地理	(17)
第二节 社会经济	(18)
第三节 地形地貌	(18)
第四节 气象水文	(20)
一、气象	(20)
二、水文	(22)
第五节 植被土壤	(24)
一、植被	(24)
二、土壤	(26)
第六节 矿产资源	(29)
第七节 环境问题	(31)
第三章 矿产资源开发与地质环境相互作用机制理论	(34)
第一节 矿山地质环境的系统分析	(35)
一、相关概念辨析	(35)
二、矿山地质环境系统的概念与内涵	(36)
三、矿山地质环境系统的特点	(37)
四、矿山地质环境系统的结构与要素	(38)
五、矿山地质环境系统的演化	(39)
第二节 矿山地质环境系统的输入：矿产资源开发	(40)
一、不同的矿产资源类型	(40)
二、不同的矿产开发方式	(41)

三、不同的矿产开发规模·····	(43)
四、矿产开发利用的不同阶段·····	(44)
第三节 矿山地质环境系统的响应:结构要素的改变·····	(44)
一、岩石要素·····	(44)
二、水要素·····	(46)
三、土壤要素·····	(48)
四、生物要素·····	(48)
五、土地要素·····	(49)
六、综合响应·····	(49)
第四节 矿山地质环境系统的输出:矿山地质环境问题·····	(50)
一、矿山地质环境问题分类·····	(50)
二、矿山地质灾害·····	(50)
三、矿山环境污染·····	(55)
四、矿山生态环境问题·····	(56)
五、矿山资源损毁·····	(60)
第四章 青藏高原地质环境类型的区划·····	(63)
第一节 区划的准备工作·····	(63)
一、区划思路·····	(63)
二、区划步骤·····	(63)
三、区划原则·····	(65)
第二节 区划结果·····	(66)
一、祁连山地区·····	(66)
二、三江源地区·····	(69)
三、羌塘高原·····	(70)
四、青海湖·····	(71)
五、可可西里·····	(74)
六、河湟谷地·····	(74)
七、藏南河谷·····	(75)
八、雅鲁藏布江地区·····	(75)
第五章 青藏高原矿产资源开发地质环境承载力评价方法体系·····	(77)
第一节 评价的基本属性·····	(77)
一、评价的对象·····	(77)
二、评价的范围·····	(79)
三、评价的性质·····	(80)
四、评价的目的·····	(82)
五、评价的服务对象·····	(82)
第二节 评价的结构体系·····	(83)
一、地质环境系统的结构分析·····	(83)
二、评价的层次结构·····	(85)
三、评价的流程/步骤·····	(86)

第三节 总体评价思路	(87)
一、以内容为主导的评价思路	(88)
二、以区域为主导的评价思路	(88)
三、以层次为主导的评价思路	(89)
四、以应用为主导的评价思路	(90)
第四节 评价指标体系	(90)
一、构建原则	(90)
二、构建方法	(91)
三、层次结构	(93)
四、准则层的建立	(94)
五、评价指标体系的构建	(96)
第五节 评价指标信息获取	(102)
一、评价单元划分	(102)
二、遥感解译方法	(103)
三、野外调查方法	(107)
第六节 定权方法	(108)
一、层次分析法	(108)
二、专家打分法	(110)
三、序列综合法	(110)
四、数理统计法	(111)
五、熵值法	(112)
第七节 评价数学模型	(113)
一、指数模型	(114)
二、数理统计模型	(116)
三、模糊数学模型	(120)
四、灰色系统模型	(125)
第六章 青藏高原典型地区矿山地质环境承载力示范评价	(129)
第一节 示范评价区的选取	(129)
一、选取原则	(129)
二、示范评价区选取	(130)
第二节 评价性状数据的获取	(132)
一、数据源	(132)
二、遥感图像处理	(134)
三、解译标志建立	(136)
四、专题信息提取	(140)
第三节 示范评价准备	(141)
一、评价指标体系构建	(141)
二、评价因子分析	(142)
三、评价因子量化分级	(143)
四、评价指标权重	(144)

五、评价单元划分	(158)
六、评价数学模型	(159)
第四节 黑河源多金属矿区评价结果及分析	(160)
一、评价区概况	(160)
二、评价结果	(162)
第五节 木里煤田聚乎更矿区评价结果及分析	(169)
一、评价区概况	(169)
二、评价结果	(171)
第六节 大场金矿区评价结果及分析	(175)
一、评价区概况	(175)
二、评价结果	(177)
第七节 甲玛铜矿区评价结果及分析	(180)
一、评价区概况	(180)
二、评价结果	(183)
第七章 主要结论及建议	(187)
第一节 矿产资源开发地质环境承载力研究主要结论	(187)
一、矿产资源开发与地质环境相互作用机制研究	(187)
二、青藏高原地质环境区划研究	(187)
三、矿产资源开发的地质环境承载力评价方法体系研究	(188)
四、典型矿区/矿山示范评价研究	(188)
第二节 矿产资源开发的合理规划对策	(190)
一、重视矿产资源开发的规划论证	(191)
二、加强矿产资源开发过程中的环境保护措施	(191)
三、执行矿山环境恢复治理政策	(193)
第三节 矿产资源开发与地质环境保护协调发展的建议	(193)
一、制订矿山地质环境保护规划	(193)
二、建立矿山监督检查制度	(194)
三、提高矿山废弃物综合利用能力	(194)
四、加强矿山地质环境的监测及预测预报	(194)
五、提高民众矿山环保意识	(194)
六、探索矿山地质环境商业保险机制	(195)
主要参考文献	(196)

第一章 绪 论

第一节 研究背景与研究内容

一、研究背景

(一) 青藏高原脆弱敏感的地质环境急需承载力的研究

青藏高原地处印度板块与欧亚板块的交汇部位,主体位于特提斯巨型成矿域,是我国最具找矿潜力的地区。最近的勘查与研究已证实,在陆-陆碰撞形成的青藏高原造山带内已发现多条世界级规模的成矿带和众多的巨型—大型矿床,如冈底斯和玉龙斑岩型铜矿带、造山型金矿带、逆冲推覆构造控制的碱金属成矿带等。正是由于其巨大的资源潜力,目前青藏高原已被列为我国重要的矿产资源的战略接续基地,国家也加大了青藏高原的国土资源大调查和矿产资源勘查开发力度。除了能提供潜力巨大的矿产资源外,青藏高原同时还为高原及周边地区乃至亚洲或全球提供着各种环境服务功能。

(1)作为我国和东南亚重要江河的发源地,提供着重要的水调节和供给功能,对当地、周边地区以及全球的水文过程产生深刻影响。

(2)对我国、东亚乃至全球的天气、气候和环境变化起着十分重要的调节功能。

(3)是全球重要的碳库,通过植被光合作用和土壤呼吸作用调节大气 CO_2 、 O_2 ,对维持大气氧平衡、碳平衡产生重要影响。

(4)孕育着许多具有独特结构和功能特点的动植物种类,是我国极其重要的物质资源库,是我国和世界生物多样性保护的重要组成部分。

(5)是地球科学、生命科学、资源与环境科学研究领域的天然实验室,对揭示岩石圈地球动力学、全球环境变化、矿产资源的形成和分布等具有重要意义。

(6)其初级生产为当地社会和其他地区提供了丰富的农产品、畜牧产品、木材和药材。

(7)旅游资源非常丰富,分布有大量自然景观和人文景观。

青藏高原虽然能提供极为多样化的环境服务功能,但这些功能的发挥必须建立在生态环境和地质环境相对稳定的前提下。例如,青藏高原的气候调节功能在地质时期受高原隆升历史中的不同高度和地表条件制约,但现在却受高原冰冻圈、地表植被和水体变化影响;青藏高原碳库功能的发挥必须以其类型多样、分布广泛的草地、森林为基础;水源涵养功能更是有赖于其星罗棋布的湖泊、湿地和面积广阔的草甸、亚高山林地和冰川。然而,青藏高原特殊的地形、地貌、气候、地质背景等决定了其生态环境和地质环境极其脆弱,与区域气候背景所形成的平衡经常处于临界阈值状态,对外部条件变化表现得非常敏感,外界的微小干扰都会导致生态环境和地质环境的格局、过程与适应方式发生改变。大多数情况

下,这种改变都向不利于人类的方向发展,表现为土地、植被的退化或岩土体的失稳,即各类生态环境或地质环境问题。

在青藏高原生态环境和环境地质的各类外界干扰中,矿产资源开发是最为重要的一种。它是人类活动对地质体在短时间内的低强度集中作用,具有干扰强度大、深度深、范围广、类型复杂等特点,许多其他干扰要经历漫长时期才能做到的改变,矿产资源的开发可能在短时间内即可发生。因此,矿产资源的开发无疑是影响青藏高原环境稳定性及其服务功能发挥的重要因素。从这一角度看,青藏高原的资源供给功能与环境服务功能是一对矛盾体:资源开发威胁着环境服务功能的正常发挥;要保障环境服务功能的发挥,在一定程度上要限制资源开发。但任何环境系统对外界干扰都有一定的抵抗能力和自适应能力,所以资源开发与环境服务功能间又存在一个相对平衡点,即只要资源开发强度不超过某一临界阈值,就不会影响环境服务功能的正常发挥。这一临界阈值即资源开发的环境承载力。

鉴于此,要在矿产资源开发的同时保障环境服务功能的正常发挥,实现青藏高原矿产资源开发与地质环境保护的协调发展,杜绝“无序开发”,达到“保护环境,科学开发”的目标,必须在矿产资源开发过程中充分考虑地质环境的承载力,将矿产资源开发强度限制在地质环境的承载力范围内。为此,在矿产资源开发之前,首先要开展青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价。随着青藏高原重点勘查规划区和重要经济区的环境地质综合调查评价工作的陆续开展和矿产资源开发的整装待发,地质环境承载力评价工作尤显迫切。

(二)地质环境承载力的评价方法体系亟须构建和完善

目前,国内外就环境承载力开展了一些工作,在环境承载力的概念与内涵、评价指标体系与评价模型等方面取得许多成就和进展。但以青藏高原矿产资源开发为前提的地质环境承载力评价具有以下特殊性,目前的评价方法还无法满足其需要。

1. 综合性

青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价对象——地质环境,并不是水、土、岩、气、生等任何单一环境要素,而是它们的综合体,承载力评价方法也必须具有高度的综合性。以往的环境承载力评价方法多是针对某一环境要素构建的,如水环境承载力评价方法、土壤环境承载力评价方法、岩体承载力评价方法、大气承载力评价方法或生态系统承载力评价方法。这些方法可为青藏高原有关矿产资源开发的地质环境承载力评价方法的构建提供借鉴,但无法直接拿来使用,必须针对这种综合性要求,研究青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价方法。

2. 层次性

青藏高原矿产资源的调查、评价将分层次开展。在不同的空间层次上,青藏高原矿产资源调查与评价的目标不同,对矿产资源开发的地质环境承载力评价所提供的结果也有着不同的要求。相应地,评价内容、评价精度(评价单元大小)、评价指标和评价方法也必然有别。因此,不可能构建一套适用于所有层次的评价方法。

另外,根据等级系统理论的思想,不同的空间层次上,地质环境过程、结构、格局及其对外界干扰的响应方式也各不相同。在较高的空间层次上,由于其较小的空间分辨率,地质环境的演变过程比较缓慢,其结构和格局表现得相对稳定,对外界干扰的抵抗力也表现得较强;而在较低的空间层次上,随着空间分辨率的提高,地质环境的演变过程较快,其结构和格局也表现得相对脆弱,外界较小的干扰可能会造成环境较大的改变,而同样的干扰在较高空间层次上可能被忽略不计。因此,对于地域辽阔的青藏高原,在不同的空间层次上,影响其地质环境承载力大小的因素或其规模必然不同,在进行矿产资源开发的地质环境承载力评价时所选取的评价方法和数学模型也有较大差别。为了更为科学合理地确定青

高原地质环境对矿产资源开发的承载力,必须分层次进行评价。

在第一个层次上,对于较小比例尺和较低空间分辨率的重要矿产资源勘查规划区、重点能源接续基地和代表性矿集区,需要从系统科学的角度对区域进行宏观把握,评价这些区域对矿产资源开发活动的适应能力和开发潜力,这就需要对区域矿产资源开发的地质环境承载力作面上的综合评价。在具有较高空间分辨率的第二个层次上,对典型矿山可开展解剖调查,根据掌握的详实数据,对矿山进行地质环境可承载力阈值的计算,以评估矿山地质环境系统是否超载或还有多少承载的潜力,这就需要对单体矿山矿产资源开发的地质环境承载力作点状评价。

在以往的地质环境承载力评价中,由于涉及的范围相对较小,评价结果所服务的目标比较单一,并没有分层次评价的必要和需求,所构建的评价方法并没有明确的层次性,大多只能用于单一空间层次,无法用于青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价。因此,必须研究针对不同空间层次的青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价方法体系。

3. 针对性

青藏高原地域辽阔,南北跨 13 个纬度,东西越 28 个经度,海拔从 100 多米到 8844.43m,涉及山地、丘陵、平原、湖泊、河流、荒漠、戈壁等多种地形地貌类型;年降水量从几毫米到 1000 多毫米,跨越干旱、半干旱、半湿润、湿润等气候区;既分布有广阔的旱生、超旱生的荒漠灌丛,又有常绿的亚高山原始森林,更有大面积的冻土草甸等。

一方面,从原生地质环境状况来看,整个青藏高原可划分为多个不同类型的地质环境分区。在不同的地质环境分区内开展矿产资源开发时,环境对资源开发的响应机制、响应方式和表现形式可能各不相同,影响环境承载力的因素更是差别极大。

另一方面,青藏高原矿产资源类型丰富,有铜、铅、锌、镍、铬、金、银、铂、铋、铁、钛等金属矿产,油气资源,煤炭资源,盐湖资源,地热资源等。对于不同的矿产资源类型,其开采方式、矿石的堆放、分选、提炼、加工和尾矿渣的处置方式等都存在着较大差异,矿产资源开发对地质环境的干扰过程、干扰强度、干扰方式等都有一定程度的差别,不可一概而论。

在以往的环境承载力评价中,所涉及的范围较小,即使某些区域性评价,评价区内的地形、地貌、水文、地质背景也比较单一。因此,青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价无法直接借用已有的方法体系。

4. 紧缺性

青藏高原气候条件恶劣,交通条件相对较差,其资源开发程度落后于中、东部地区。相应地,以往极少有人在青藏高原开展以资源开发为核心的地质环境承载力评价工作。对于青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价,还没有经过实践检验的成熟理论与方法。而作为“世界屋脊”和地球的“第三级”,青藏高原高寒、多样、复杂而脆弱的生态环境与地质环境又极具独特性,经中、东部地区实践检验的地质环境承载力评价方法在这种环境下可能并不适用。

综上所述,为了指导已开展的各勘查规划区与资源接续基地的地质环境综合调查评价工作,为矿产资源有序开发与地质环境保护提供科学依据,急需深入开展青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价研究工作。

二、研究内容

(一)总体研究目标

围绕“矿产资源开发与地质环境保护协调发展”这一重要战略命题,以地球系统科学理论为指导,系

统收集青藏高原地质环境综合调查成果,分析矿产资源开发与地质环境之间的相互作用机制,探讨矿产资源开发对地质环境的影响,并在深入研究典型矿区自然状态下的环境阈值和人类活动程度量化标准的基础上,针对青藏高原不同的地质环境分区,分别提出不同层次的地质环境承载力评价技术方法,开展青藏高原脆弱敏感生态环境条件下矿产资源开发的地质环境承载力示范评价与量化研究,构建和进一步完善青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价理论和方法体系,探索不同地质环境背景条件下矿产资源开发利用、地质环境保护与地质灾害防治的对策建议,为青藏高原重要矿产资源开发区、重大工程沿线和重要经济区地质环境综合调查评价提供理论与技术支撑,为青藏高原矿产资源开发、地质环境保护、区域经济可持续协调发展提供科学依据。

(二)工作原则及特点

1. 系统性

在工作部署中,应作系统性思考,以方法研究为核心,兼顾理论研究和应用研究,方法的构建应以机制分析为基础,还要经过实践的检验,从而构成一个由理论到实践、由科研到应用、层层递进、紧密相连的完整体系。

2. 针对性

青藏高原地域辽阔,大体可划分为东南部的地质环境敏感区和西北部的生态环境脆弱区。在两大区域内,地质环境对矿产资源开发的响应机制、响应方式和表现形式各不相同,影响地质环境承载力的要素差别极大。因此,应针对这两大类型区各自的地质环境特点,分别部署工作,研究其地质环境承载力的评价指标、分级标准和阈值范围,构建各自的矿产资源开发的地质环境承载力评价方法。

3. 整体性

地质环境系统是由相互联系和相互作用的水、土、岩、生、气等要素构成,它对矿产资源开发的承载能力大小也由这些要素综合决定,而不是仅受某单一要素的影响。因此,在构建青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价方法时,评价对象不应是水、土、岩、生、气等任一要素,而是它们相互作用相互联系构成的统一整体。

此外,矿产资源的开发一般由勘探、开采、选矿、冶炼等阶段构成。即使是在某一个阶段,如开采阶段,对地质环境的作用也可能体现为岩土体的剥离、输送与堆放、水土污染、含水层结构的改变、植被破坏等多种方式。因此,在构建矿产资源开发的地质环境承载力评价方法时,对地质环境承载的外界作用也应作整体性思考。

4. 服务性

一方面,在构建矿产资源开发的地质环境承载力评价方法体系过程中,应充分了解青藏高原矿产资源规划部门和地质环境保护部门的需求,使其能够服务于地方需求,而不是纯粹的基础性和理论性研究。

另一方面,要基于研究成果,对参加青藏高原矿山地质环境调查评价的相关技术人员进行培训,以指导青藏高原重要资源开发区、重大工程沿线和重要经济区地质环境综合调查评价工作的实施。

此外,还应将地质环境承载力与相关的政策、规划、计划等联系起来,积极开展承载力评价与矿产资源规划间的反馈模式研究,探索地质环境承载力评价成果向矿产资源规划工作转化的一般思路、手段和应注意的问题等。

5. 前瞻性

矿产资源开发的地质环境承载力评价属典型的预评价,通常应在矿产资源开发规划或开采方案编制的初期介入,以便将对地质环境的考虑充分融入到规划中去。因此,在开展青藏高原矿产资源开发地质环境承载力评价研究时,应具有一定的前瞻性,主要体现在:

在选取典型工作区时,不仅要考虑交通相对便利、矿产资源开发条件较好的东部区域,还要考虑目前开发条件可能相对较差,但资源潜力巨大的西部区域。

在构建矿产资源开发的地质环境承载力评价方法时,不仅要考虑矿业开发对地质环境的直接作用,还应充分考虑可能由最初的矿山开发导致的区域空间结构、产业结构、城市化等方面的变化及其对地质环境的影响。

(三)具体内容

以总体研究目标和工作任务为引导,根据上述工作部署原则,基于青藏高原重要矿产资源勘查规划区、代表性大型矿区和典型矿山的地质环境综合调查结果,依次开展青藏高原地质环境类型区划的背景研究、矿产资源开发对地质环境的作用机制研究、矿产资源开发的地质环境承载力评价方法研究、矿产资源开发的地质环境承载力评价示范研究和青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价理论、方法体系、推广应用和对策建议的综合研究。逐步完成评价指标体系的构建、赋值方案、权重确定、综合评价模型的选择等研究工作,在中间始终贯穿着示范评价的检验和校正,最终提供一套适用于青藏高原矿产资源开发地质环境承载力评价的技术方法体系,用以指导青藏高原矿产资源的规划和开发工作。

按照上述思路,可把“青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价研究”具体分解为:背景研究、机制研究、方法研究、示范研究、综合研究 5 部分研究内容,这 5 部分内容从理论到实践、从科研到应用,层层递进,构成一个紧密相连的有机整体,其最终成果将服务和应用于青藏高原的矿山地质环境影响评价,并对区域甚至全国矿山地质环境的调查、评价、监测和整治工作有借鉴和指导意义。

1. 背景研究——青藏高原地质环境分区

青藏高原幅员辽阔,气候复杂多变,地貌类型众多,水系湖泊星罗棋布,植被覆盖稀少,且地质结构复杂,地壳运动频繁剧烈,这导致每个次级区域的地质环境特点迥异,差别极大。一般情况下,不同保护目标的区域对地质环境承载力的要求是不一样的,即不同的目标有不同的阈值。将青藏高原整体笼统地视为一个类型区,或大致划分为东南部的地质环境敏感区和西北部的生态环境脆弱区都满足不了现实的需求,这也与实际情况不符,精度不够。为了更好地突出针对性和代表性,应该根据地质环境背景多样、生态环境多样、保护对象及要求不同划分更细的区。

从矿产资源开发视角入手,在重点考虑青藏高原不同区域的气候条件、地质地貌条件、地质环境问题类型、生态环境恢复难易程度等方面相关要素的基础上,结合最新的资料和认识,通过查阅文献、国内外调研和实地的野外调研,同时考虑地质环境对矿产资源开发的响应方式的空间差异,以地域或问题为导向,将青藏高原按不同的地质环境功能和特点进行区划。

2. 机制研究——矿产资源开发与地质环境的相互作用

只有深入分析矿产资源开发活动对地质环境的作用方式、过程和机制,查清地质环境对矿产资源开发可能产生的响应、响应方式和表现形式,建立两者间的相关关系,确定地质环境对矿产资源开发活动的承载力阈值,才能选取科学合理的评价指标,确定各指标的分级标准。因此,查清矿产资源开发对地质环境的作用机制是开展后续研究,特别是方法研究的重要前提。具体的工作内容包括:

(1)调查青藏高原矿产资源开发活动的类型、方式、强度及其动态变化(输入),地质环境系统构成要

素的类型、分布、状态及其演化规律(结构),主要地质环境问题的类型、分布、发育程度、危害及其动态变化(输出);构建影响矿产资源开发的地质环境承载力的因子库。

(2)分析在不同矿产资源开发活动类型、方式、强度及其各个环节作用下,各地质环境要素的响应机制、过程、方式及表现形式,构建矿产资源开发(输入)—地质环境系统结构(响应)—矿山地质环境问题(输出)间的关系。

(3)基于已构建的输入—响应—输出关系,分析地质环境系统的正、负反馈机制随矿产资源开发强度加剧而发生转换的临界点,确定地质环境—矿产资源开发的平衡点和地质环境能承载的矿产资源开发活动的极限值。

3. 方法研究——矿产资源开发的地质环境承载力评价方法

为满足不同层次矿产资源开发的地质环境承载力评价的需求,拟开展多个层次的承载力评价方法研究:第一层次的空间尺度较大,主要针对重要的矿产资源勘查规划区、重点能源接续基地和代表性矿集区,构建的评价方法用于指导以矿产资源开发规划为目的的地质环境调查评价工作,评价结果可为矿产资源的合理规划和有序开发提供依据;第二层次空间尺度较小,主要针对大型矿山或典型中小型矿山聚集形成的矿区,构建的评价方法用于指导以矿山或矿区为单元的环境地质调查评价工作,评价结果可为矿山开采方案设计、基础设施布局、地质环境保护方案制定等提供依据。

方法体系研究是本书的核心内容,即在矿产资源开发的影响下地质环境承载力评价的方法研究。但这种方法不是针对一两种或多种方法进行筛选或重组,而是需要对一整套评价方法体系进行研究。因此,方法研究将分别开展下述工作:地质环境承载力调查评价方法的国内外调研和对比;矿产资源开发的地质环境承载力评价的内涵、对象、目标、服务对象等基本属性的确定;矿产资源开发的地质环境承载力评价指标库的构建;矿产资源开发的地质环境承载力评价指标的数据资料获取方法和流程的建立;矿产资源开发的地质环境承载力评价指标的分级标准和定权方法的确定;矿产资源开发的地质环境承载力评价精度和评价单元大小的确定;矿产资源开发的地质环境承载力评价模型的选取。

总结起来,方法研究部分有3个核心研究内容,可归纳总结如下。

1) 评价指标体系

对于任何一项评价工作而言,评价指标体系的构建都是最基础但也是最重要的工作之一,地质环境承载力的评价工作也不例外。本书要对青藏高原矿产资源开发地质环境承载力进行评价,首要的任务就是筛选评价指标、确定评价因子、建立评价指标体系。

为了构建一套科学、实用的评价指标体系,第一步是对研究任务和评价目标进行系统的分析,如对地质环境系统进行结构分析,对承载力评价进行层次分析,在此思想的指导下构建具有层次结构的评价指标体系。

完整的评价指标体系应该体现出评价工作的每个内容和细节,还要表达出不同评价的要求和精度等诸多考虑,简而言之,就是要求指标全面和丰富。实现这个目的最简单的方法就是建立一个“评价指标库”,而建立这个指标库又可以通过不同手段和途径实现。通过不同的评价内容,如对地质灾害、生态环境、水土污染分别进行评价,甚至可以通过不同的评价层次把想要的指标都汇总到一起;但最直接、最理想的方法是根据评价区不同的地质环境特点和功能进行指标的归拢。

因此,对评价区进行地质环境类型的区划也是评价指标体系研究工作中重要的一环,即前期的基础研究。而在评价指标库建立好之后,需要考虑的就是如何获取指标的问题。当这个问题得到解决,整个“评价指标体系”的构建工作就基本完成了。

2) 赋值方案、权重确定

评价指标体系建立起来后,下一步工作就是考虑体系的应用。对于同一个指标,获取到的结果可能是不同的数值(如海拔),也可能是不同的文字(如植被类型),为了规范使用和参照对比,必须对其进行好坏评判,也就是需要对指标进行赋值。不同的指标,对评价内容或结果可能产生不同的影响,也就是

说指标间的重要程度和对结果的贡献度不同,因此还需要对指标进行定权。分级标准和权重确定的研究是关系到评价结果,甚至整个研究成功与否极其重要的步骤,因此需要格外慎重。

为了使指标的赋值和权重的确定更准确、更具科学性,必须要做好理论基础研究工作,即分析矿产资源开发与地质环境间的“输入—响应—输出”关系和正、负反馈过程——机制研究。只有深入分析矿产资源开发活动对地质环境的作用方式、过程和机制,查清地质环境对矿产资源开发可能产生的响应、响应方式和表现形式,建立两者间的相关关系,确定地质环境对矿产资源开发活动的承载力阈值,才能为确定各指标的分级标准提供依据。因此,查清矿产资源开发对地质环境的作用机制是开展后续研究,特别是方法研究的重要前提。

进行机制的理论研究只能确保研究方向不出现大的偏差,但要实现分级和权重的定量化还需要数据的科学支撑,因此还需作评价指标与内容的相关性分析。采用统计学方法,构建矿产资源开发(输入)—地质环境系统结构(响应)—地质环境问题(输出)间的关系。基于已构建的“输入—响应—输出”关系,分析地质环境系统的正、负反馈机制随矿产资源开发强度加剧而发生转换的临界点,确定地质环境—矿产资源开发的平衡点和地质环境能承载的矿产资源开发活动的阈值,为矿产资源开发的地质环境承载力评价指标的权重和分级标准的确定提供依据。

在参考机制分析、相关性分析成果的基础上,还需要借鉴国内外现有的、成熟的指标分级方案,如国家标准、地方标准、行业标准等。但青藏高原地质环境复杂多变,与内陆地区差异明显,有其特殊性,因此需要着重考虑的是区域背景值和当地的本底值。最后对数据资料收集、地质环境综合调查、样品测试分析及动态监测的成果进行统一整理、矢量化和分级,非数据形式的指标还需要进行转换和分类。具体在指标赋值时涉及到把定性的指标量化,把逆向指标和适度(中性)指标正向化以及把所有指标无量纲化等一系列内容。

3) 评价模型

在评价指标体系及其分级标准、权重确定的工作都结束之后,就可以选择和建立承载力的评价模型了。模型的建立目前都有成熟的方法,接下来的工作包括评价单元的划分、网格的剖分、评价方法/数学模型的选择和示范评价。

评价单元的划分需要根据不同空间矿产资源开发地质环境承载力评价的精度要求,结合各评价指标能获取的数据的空间分辨率大小,确定满足评价精度要求的评价单元大小;对比不同评价单元划分方法的优缺点,优选出最合适的评价单元划分方法。对于网格的剖分,当前主流的方法是三角形剖分、正方形剖分和不规则多边形剖分,根据实际情况和评价需要选择即可。

模型选择中,需要综合对比指数模型、模糊数学、层次分析、神经网络、灰色系统等多种评价模型,为不同空间层次的矿产资源开发地质环境承载力评价选取操作性强、科学合理的评价模型。

4. 示范研究——矿产资源开发的地质环境承载力评价示范

在前期所有工作的基础上,选取具有代表性的矿产资源勘查规划区和典型矿山,利用已构建的评价方法体系,开展矿产资源开发的地质环境承载力示范评价,确定试点区内地质环境能承载的矿产资源开发规模、强度和速度的极限值,指导区内矿产资源的合理规划,探索矿产资源开发引发的地质环境问题的防治对策。

示范研究的主要目的是:通过实际应用,检验已建立的矿产资源开发的地质环境承载力评价方法是否科学合理,在操作上是是否可行和简便适用;同时根据示范评价的过程和结果对所选取的评价指标及其分级标准、定权方法、评价单元的大小等进行调整,反过来对评价方法进行完善。

由于矿产资源开发的地质环境承载力评价方法是基于地质环境敏感区和生态环境脆弱区构建的,并把每个地质环境类型区,又分成了勘查规划区和大型矿山两个层次。因此,为全面检验和完善已构建的评价方法,需在地质环境敏感区和生态环境脆弱区内都布设示范评价区。对于所选的示范区,矿产资源开发的地质环境承载力评价示范研究的工作内容基本相似,包括:

(1)矿产资源开发的地质环境承载力评价所需资料的收集、野外调查和遥感调查,两个层次对应的比例尺分别为1:5万和1:1万。

(2)数据资料的整理、量化,以及矿产资源开发的地质环境承载力评价各指标单要素图的编制。

(3)各指标分级标准的确定,以及矿产资源开发的地质环境承载力评价各指标单要素分级图的编制。

(4)示范区矿产资源开发的地质环境承载力的评价与分区,以及评价与分区图的编制。

(5)评价与分区结果的分析,矿产资源开发相关规划及环境保护对策建议的提出。

(6)示范评价过程与结果的质量评估,矿产资源开发的地质环境承载力评价指标及分级标准、定权方法、评价单元大小等的调整,评价方法的完善。

5. 综合研究——矿产资源开发的地质环境承载力评价理论、方法体系、推广应用和对策建议

综合不同地质环境类型区、不同空间层次上的“机制研究”“方法研究”和“示范研究”的成果,提出青藏高原不同地质环境类型区和不同层次的矿产资源开发的地质环境承载力评价理论与方法体系。

在代表性勘查规划区和典型矿山地质环境承载力评价的基础上,针对国家和地区的矿产资源规划和矿产资源开发方式及可能产生的地质环境问题类型,以地质环境保护规划为约束,对矿产资源开发的现有规划方案提出建议,对未来的规划方案提出地质环境保护方面的要求,供规划单位参考,对矿产开发过程中可能出现的生态环境和地质环境问题,提出有针对性的防治对策和建议。

三、研究意义

开展青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价方法研究,具有如下重要意义。

1. 为青藏高原矿产资源开发的地质环境综合调查评价提供科学依据

当前,国家已经在除青藏高原西部高山冻融环境脆弱区之外的其他区域部署了重要矿产资源开发区的地质环境综合调查评价项目。在开展实际工作之前,迫切需要清楚如下问题:在这些区域内,以矿产资源开发为核心的地质环境综合调查评价的内容有哪些?究竟如何开展?地质环境承载力如何评价?减少矿产资源开发对地质环境影响的技术措施与管理制度如何制定?等等。

开展矿产资源开发的地质环境承载力评价方法研究,对地质环境可支撑的矿产资源开发力度进行定性分析和定量评价,确定相应的评价指标体系,构建地质环境承载力评价模型等,进而建立青藏高原地质环境承载力评价理论和方法,可以指导已全面开展的各勘查规划区与资源接续基地的地质环境综合调查评价工作,为青藏高原矿产资源开发的总体规划和整装开发提供科学依据。

2. 是实现青藏高原矿产资源开发与地质环境保护协调发展的前提条件

青藏高原特殊的气候条件和地理环境决定了其地质环境极其敏感和脆弱,一旦外界干扰过大,就会造成地质环境的退化,并且极难恢复。因此,开展青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价研究,确定各勘查规划区和资源接续基地的资源开发的环境适宜性、承载能力、承载水平和环境要素特点,可以从区域上全面分析、统筹考虑,科学制定资源开发、产业发展和地质环境保护的政策与策略,形成合理的矿产资源开发模式,实现矿产资源开发与地质环境的协调发展。

3. 有利于国家环保制度的改进与完善

我国20世纪80年代开始起步的经济建设基本上走发达国家“先破坏,后治理”的老路,特别是矿产资源开发对地质环境的破坏与负面影响没有引起足够关注。30多年来,矿产资源开发产生的地质环

境破坏及引发的地质灾害呈现出越来越严重的态势,近年来,西部开发也出现了同样的问题。这些问题主要是与矿产资源开发相关的环保制度不健全、不完善,不注重破坏前的地质环境保护,比较注重末端治理,导致成本很高、代价很大,但成效有限。其根本原因是缺乏对区域地质环境总体承载能力的评估这一重要环节,无法确定区域的地质环境承载能力大小和承载水平。因此,按照“在保护中开发,在开发中保护”的原则,通过青藏高原矿产资源开发的地质环境承载力评价研究,可以为矿产资源开发准入条件的制定提供科学依据,为建立具有青藏高原特色的矿山地质环境影响评估制度、矿区地质灾害危险性评估、矿山地质环境的恢复治理等提供借鉴,从而改进与完善资源开发的环保制度。

第二节 研究思路与工作方法

一、研究思路

以地球系统科学理论为指导,以保护青藏高原地质环境为前提,以矿产资源的高效、合理开发为目标,从地质、资源、环境、生态、经济等多学科角度,综合运用野外调查、自动化监测、室内试验、遥感、地理信息系统等技术方法,开展青藏高原典型矿产资源勘查规划区及矿山的地质环境综合调查;基于地质环境系统的自组织和稳定性理论,分析矿产资源开发与地质环境间的相互作用机制,研究矿产资源开发对地质环境的影响;在层级系统理论的指导下,开展不同层次上矿产资源开发的地质环境承载力评价,提出矿山地质环境承载力评价指标,确定地质环境能承载的矿产资源开发规模、强度和速度的极限值;基于评价结果,以科学性、适用性、综合性、层次性和针对性为原则,总结提出青藏高原不同环境类型区和不同层次的矿产资源开发的地质环境承载力评价理论与方法体系,为青藏高原“矿产资源开发-地质环境保护”的协调发展提供科学依据。

在全面综合青藏高原已有相关资料的基础上,分析矿产资源开发与地质环境之间的相互作用机制,研究青藏高原矿产资源开发的地质环境综合调查评价理论与方法体系,提出矿产资源开发的地质环境承载力评价方法,通过示范研究及完善该方法体系,从而指导青藏高原矿产资源开发的地质环境综合调查、评价工作。

本研究总体技术路线如图 1-1 所示,具体研究步骤如下。

(1)系统收集青藏高原地形、地貌、气候、水文(冰川)、地质、植被、土壤(冻土)、社会、经济以及各种地质环境问题、生态环境问题和矿产资源开发方面的资料,对这些资料进行归纳和整理,并建立数据库。

(2)以上述背景条件为基础,同时考虑地质环境对矿产资源开发的响应方式的空间差异,根据地质环境背景多样、生态环境复杂、保护对象及要求类型将青藏高原划分为不同的地质环境类型区,为后续示范评价奠定基础。

(3)从青藏高原不同的地质环境类型区中分别选取典型矿产资源勘查规划区和代表性矿山,综合运用野外调查、自动化监测、样品采集与测试、室内试验、遥感调查、地理信息系统、空间数据库等技术方法,开展矿山地质环境综合调查。

(4)基于矿山地质环境综合调查结果,以地质环境系统的自组织和稳定性理论为指导,分析矿产资源开发与地质环境间的“输入—响应—输出”关系和正、负反馈过程,揭示矿产资源开发对地质环境的作用机制。

(5)系统收集和整理国内外相关标准、规范、技术方法、公开发表的学术文献等资料,开展地质环境承载力调查评价方法的国内外调研和对比研究,同时考虑我国矿山地质环境保护工作的实际需求,明确矿山地质环境承载力评价的内涵、对象、性质、目标、服务对象、结果表述、流程等基本属性。